

鳥取大学 正員 井上 正一, ルピー・エス 正員 難波 勝彦
鳥取大学 正員 西林 新蔵, ルショーボンド 正員 小俣 富士夫

1. まえがき

コンクリート構造物の補強法として、ここでは、RCはりの下面に鋼板ないしはCFRP板をエポキシ樹脂で接着・一体化したはりの静的および疲労試験を行い、補強板の種類や板接着時のアンカーボルト（以下アンカと略称）使用の有無が破壊様式と強度特性に及ぼす影響を述べる。

2. 実験概要

はり供試体の断面形状を図-1に、使用材料の力学的特性の詳細を表-1に示す。はりの種類は、RCはり（主鉄筋量： $A_s = 2D16 = 3.97 \text{ cm}^2$ ）と、このRCはり下面にCFRP板ないしは鋼板をエポキシ樹脂とアンカ（433 mm 間隔で配置）を併用して接着・一体化したCFRP-Aはり、鋼板はりで、さらに、CFRPはりは、アンカを使用せずエポキシ樹脂のみで接着・一体化したCFRP-Nはりも作製した。静的および疲労試験は、スパン 150 cm の三等分点載荷で行った。なお、疲労試験は、繰返し載荷速度 5 Hz, 上限荷重比 P_u は同一はりの静的終局耐力 (P_{uc}) : 2 体の平均値で表-2 参照)に対する百分率で選び、下限荷重は全て P_u の 10% と一定のもとで行った。

3. 結果と考察

3.1 静的試験結果

3.1.1 破壊様式(表-2 参照)

RCはりは、主鉄筋の降伏後にコンクリートが圧潰する曲げ引張破壊によって、CFRPはりは、主鉄筋の降伏後、CFRP-Nはりでは板の剥離によって、CFRP-Aはりではアンカ位置のCFRP板の破断によ

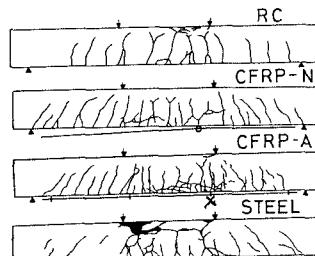


図-2 破壊様式 (X: 破断位置)

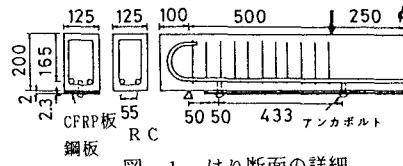


図-1 はり断面の詳細

表-2 静的試験結果

はりの種類	終局耐力 (t_f)		耐力比 P_u/P_{uc}	破壊様式	破壊位置
	実験値 P_u	計算値 P_{ucal}			
RC	9.87	8.84	1.12	-Yi	BS
CFRP-N	16.60	18.86	0.88	De-Yi	SS
CFRP-A	16.08	18.00	0.89	Fr-Yi	BS
鋼板	15.41	15.06	1.02	Yi-Yi	BS

表-3 疲労試験

CFRP-N はり			CFRP-A はり						
P_s	r	$N \times 10^3$	P_s	r	$N \times 10^3$				
1	48500	De-Fa	SS	1	62348	Fa-Fa	BS		
60	2	63090	De-Fa	BS	60	2	77034	Fa-Fa	BS
%	3	132160	De-Fa	BS	%	3	132251	Fa-Fa	BS
	4	249000	De-Fa	BS		4	>200000		
	1	28620	De-Fa	SS	1	25156	No-CC	BS	
65	2	33090	De-Fa	SS	65	2	45835	Fa-Fa	BS
%	3	34310	De-Fa	BS	%	3	51902	Fa-Fa	BS
	4	34960	De-Fa	BS	4	54552	Fa-Fa	BS	
	1	4320	De-No	SS	1	19565	De-Fa	BS	
70	2	7250	De-No	SS	2	22089	De-Fa	BS	
	3	11860	De-No	SS	70	3	25860	De-Fa	BS
	4	18130	De-Fa	SS	%	4	30198	De-Fa	BS
					5	46470	Fa-Fa	BS	

P_s : 荷重比 (%)
 r : 順序統計量 CF-RE : はり破壊時のCFRP板と主鉄筋の破壊状況 (De : 剥離, Fa : 疲労破壊, No : 非破壊, Fr : 静的破壊, CC : コンクリートの圧縮疲労破壊, Yi : 主鉄筋ないしは鋼板の降伏)

PP : 破壊位置 (SS : せん断スパン, BS : 曲げスパン)

3.1.2 終局曲げ耐力

図-3に、CFRP-Aはりの曲げスパン内横断面のひずみ分布を示す。他のはりについても同様の直線形状が得られ、平面保持の仮定がほぼ成立しているといえる。

表-2は、平面保持の仮定と、表-1と図-4に示す材料特性と応力-ひずみ関係を用い、コンクリート標準示方書(以下、示方書と称す)とに基づいて算定される終局曲げ耐力を示す。RCはりと鋼板はりの終局曲げ耐力は、実験値と計算値がほぼ一致していることから、示方書をそのまま適用することによって、一方、

表-1 使用材料の物理的性質 (強度、弾性係数の単位は kgf/cm^2 , 終局耐力算定は、アンカ(穴)有りのCFRP-Aと鋼板はりでは $A_p=2.461 \text{ cm}^2$ を用いた)

コンクリート			主鉄筋			CFRP板(140×12.5×2.3cm)			鋼板(140×12.5×2.3cm)			エポキシ樹脂		
f'_c	f_{ct}	E_c	断面積 $A_s(\text{cm}^2)$	降伏強度 f_y	引張強度 f_u	弾性係数 E_s	断面積 $A_p(\text{cm}^2)$	引張強度 f_{pu}	弾性係数 E_p	断面積 $A_p(\text{cm}^2)$	降伏強度 f_{py}	弾性係数 E_p	強度 庄縮 貫入断	
563	35.1	3.68×10^6	3.97	3650	5420	2.1×10^4	2.875	5800	6.5×10^8	2.875	3680	2.03×10^4	500	120

CFRPはりの終局曲げ耐力は、示方書によって求めた耐力に0.9倍程度を乗じることによって、それぞれ予測できるといえる。

3.2 疲労試験結果

3.2.1 破壊様式(表-3 参照) CFRP-Nはりは全て板の剥離により破壊したが、低荷重比になるに伴って板剥離位置が板端部から曲げスパン内へと移行し、それに伴って主鉄筋の疲労破断も併発した。CFRP-Aはりは、板の板の剥離ないしは破断によって破壊するが、 $P_s = 70\%$ の高荷重比においても主鉄筋の疲労破断を併発する傾向があった。なお、板の疲労破断はアンカ位置で生じ、板の剥離は局所的な剥離にとどまっていた。鋼板はりは、全てのはりがアンカ位置の鋼板の疲労板破断により破壊したが、ひびわれは破断位置に集中し、主鉄筋の破断は伴わなかった。

3.2.2 $P_s - \bar{N}$ 線図 図-5は、各荷重比における疲労寿命の分布が対数正規分布に従うことより、荷重比 P_s と生存確率0.5に相応する平均疲労寿命 \bar{N} との関係を示したもので、参考のため、RCはりの結果¹⁾も併記している。同一荷重比における疲労寿命は、CFRPはりは鋼板はりよりも長いこと、CFRPはりにおけるアンカの配置は、高荷重比での疲労寿命を長くするが、低荷重比になるとアンカの有無の差は小さくなること、がわかる。

3.3.3 主鉄筋の応力振幅と疲労寿命

図-6は、主鉄筋の疲労破断を伴って破壊したはりに対して、ひびわれ断面を仮定した弾性計算より算定される主鉄筋の応力振幅と疲労寿命との関係を示したもので、図中の曲線は示方書に規定された鉄筋のS-N線式を描いたものである。鉄筋の応力振幅が同一の場合、RCはりとCFRPはりの疲労寿命は、アンカの有無にかかわらず、ほぼ等しい値を示していること、また、これらの疲労寿命は、示方書に規定されているS-N線式から概ね予測できること、がわかる。

3.3.4 付着応力と疲労寿命

図-7に、CFRP板の剥離を伴って破壊したはりに対して、式(1)より算定される上限荷重作用時の補強板とコンクリートとの付着応力とCFRP板剥離時の載荷回数(本研究でははりの疲労寿命に一致)との関係を示す。図より、補強板剥離までの載荷回数は付着応力の低下に伴って増加するが、アンカの有無が $\tau_{ou}-N$ 関係に及ぼす影響は小さいことがわかる。なお、静的付着強度 τ_{ou} も、CFRP-N, CFRP-A, 鋼板はりで、それぞれ、19.2, 20.6, 18.8 kgf/cm²であった。

$$\tau_{ou} = A_p \cdot \sigma_p / (b_p \cdot L) = t \cdot \sigma_p / L \quad (1)$$

ここに、 A_p :補強板の断面積、 b_p 、 t :補強板の幅(12.5 cm)と厚さ(2.3 mm)、 L :補強板の付着長(載荷点から補強板端までの長さ(45 cm))、 σ_p :静的試験においては補強板が剥離した時の、疲労試験では上限荷重作用時の、補強板の算定応力度。

参考文献 1) 井上、西林他:コンクリート工学年次講演論文集、12-2、1990

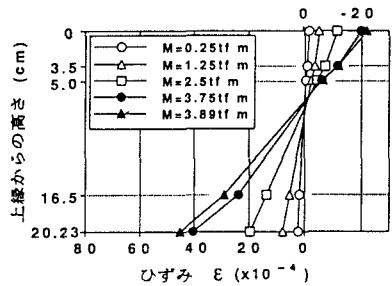


図-3 ひずみ分布

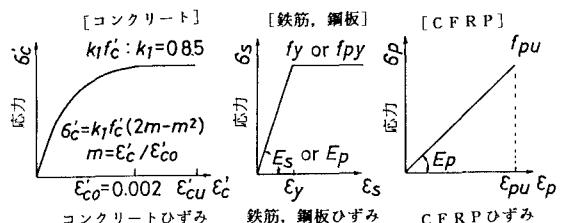


図-4 材料の応力-ひずみ関係(数値は表-1 参照)

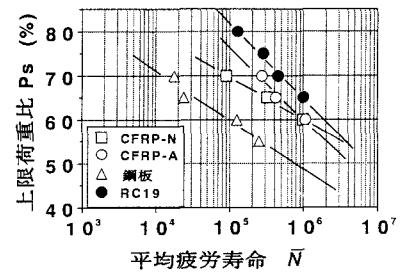
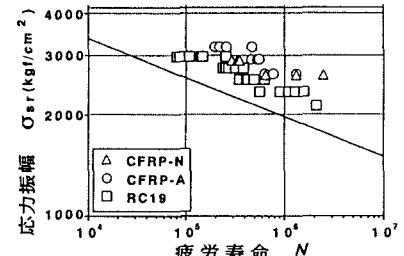
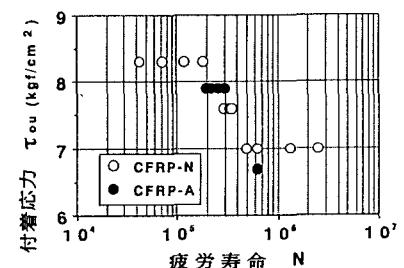
図-5 $P_s - \bar{N}$ 関係

図-6 鉄筋応力と疲労寿命

図-7 $\tau_{ou}-N$ 関係